

## Загальні питання технологій збагачення

10.1016/j.fuproc.2010.05.029.

12. G.H.V.C. Chary. M.G. Dastidar. Optimization of experimental conditions for recovery of coking coal fines by oil agglomeration technique. // Fuel. September 2010. 89(9):2317-2322. DOI 10.1016/j.fuel.2009.12.016.

© Білецький В.С., Сергєєв П.В., 2018

*Надійшла до редколегії 12.02.2018 р.  
Рекомендовано до публікації д.т.н. П.І. Піловим*

УДК 691 (075.8)

**В.П. КРАВЧЕНКО**, канд. техн. наук

**Е.В. ТАРАНИНА**

(Україна, Мариуполь, Государственное ВУЗ "Приазовский государственный технический университет),

**В.Ф. ГАНКЕВИЧ**, канд. техн. наук

(Україна, Днепр, Государственное ВУЗ "Национальный горный университет")

### ПОЛУЧЕНИЕ МИНЕРАЛЬНОЙ ВАТЫ ПЕРЕРАБОТКОЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ШЛАКОВ

Актуальность темы, рассматриваемой в данной работе, заключается в решении проблемы переработки техногенных отходов металлургического производства – шлаков и порождаемой энергетическим кризисом проблемы тепло-сбережения путем использования в гражданском и промышленном строительстве дешевых теплоизоляционных материалов.

К основным направлениям переработки металлургических шлаков наряду с производством вяжущих, заполнителей и бетонов на их основе относится и получение материалов из шлаковых расплавов – шлаковой ваты, которая является разновидностью минеральной ваты и обладает высокими строительно-техническими показателями.

Сырьевой базой для производства шлаковой минеральной ваты являются шлаки как черной, так и цветной металлургии, а также природные материалы: базальты, диабаз, гранит и др. горные породы.

*Характеристика и технологический процесс получения минеральной (шлаковой) ваты*

Минеральная вата состоит из искусственных минеральных волокон. Производство ее включает две основные технологические операции – получение расплава и превращение его в волокно диаметром 2...10 мкм. Расплав получают, как правило, в шахтных плавильных печах-вагранках [1]. Превращение расплава в минеральное волокно производят дутьевым или центробежным способом. При дутьевом способе выходящий из печи расплав разбивается струей

пара или воздуха на мелкие капельки, которые вдуваются в специальную камеру и в полете сильно вытягиваются, превращаясь в тонкие волокна. При центробежном способе струя жидкого расплава поступает на быстровращающийся диск центрифуги и под действием большой скорости вращения сбрасывается с него и вытягивается в волокна. Таким образом, минеральная вата представляет собой тонкие и гибкие волокна, полученные при охлаждении предварительно раздробленного в капли и вытянутого в нити минерального (шлакового) расплава.

Теплоизоляционные свойства минеральной ваты обусловлены содержанием в ней большого количества воздушных пор и каналов (до 95% от общего объема ваты), заключенных между хаотически расположенными волокнами (рис. 1).

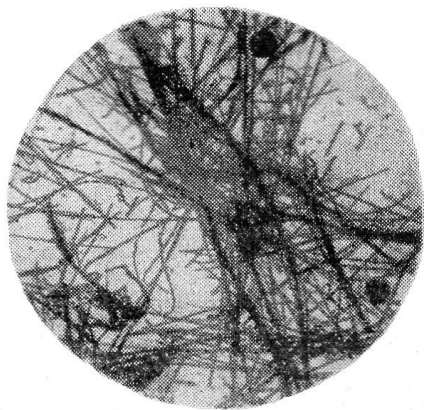


Рис. 1. Структура минеральной ваты (микрофотография)

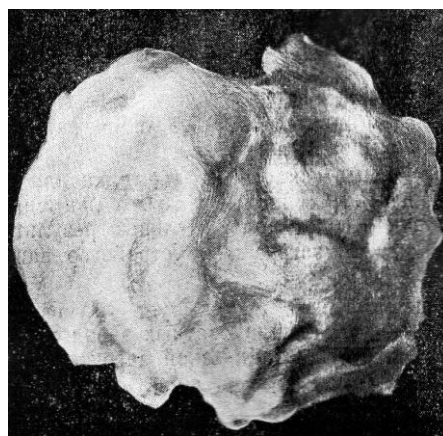


Рис. 2. Шлаковая вата

Минеральная (шлаковая) вата (рис. 2) является также хорошим звукоизоляционным материалом неорганического происхождения. Ей присущи ценные свойства: низкий объемный вес, коэффициент теплопроводности, не превышающий  $0,05 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$  при  $25^\circ \text{C}$ , стойкость при действии высоких температур (до  $700^\circ \text{C}$ ) [2]. По теплопроводности и низкой средней плотности шлаковая вата может конкурировать с пенопластами, а температурой стойкости – с любыми другими теплоизоляционными материалами.

Наиболее эффективным способом производства ваты является ее получение непосредственно из первичных шлаковых расплавов доменных печей. Расплавленный шлак подогревается в ваннах печей [3] до требуемой температуры; здесь же корректируется его состав. Производство минеральной ваты из огненно-жидких шлаков на 30-50% экономичнее, чем из холодных при плавке в вагранках. Затраты условного топлива на получение 1 тонны продукции из жидких шлаков в 4...7 раз ниже, чем при плавлении шихты из горных пород.

На основе минеральной ваты изготавливают изделия различной формы с использованием в качестве связующих синтетических полимеров, битумов,

эмульсий и паст. Основными видами изделий являются мягкие, полужесткие и жесткие плиты, цилиндры, прошивные маты.

### *Основная часть*

Авторами была поставлена задача усовершенствовать способ получения шлаковаты из огненно-жидких доменных шлаков, в котором изменение условий осуществления действий позволяет, не нарушая санитарно-гигиенических условий эксплуатации металлургического оборудования, повысить качество и снизить себестоимость шлаковаты.

Для решения поставленной задачи в способе получения шлаковаты из огненно-жидких шлаков [4], содержащем введение корректирующих подкисляющих добавок в шлаковозный ковш до заливки его шлаковым расплавом или в струю шлакового расплава при подаче в печь-шлакоприемник для последующего раздува на волокно, дополнительно вводят корректирующие подкисляющие добавки в количестве 15-20% от массы шлака и подогревают его до температуры жидкотекучего состояния, используя колошниковый (доменный) газ. Для этого были проведены исследования химсоставов доменных шлаков металлургических комбинатов им. Ильича и "Азовсталь" и эксперименты на Мариупольском заводе теплоизоляционных материалов (ЗИМ). В результате расчетов и экспериментов установлены модули кислотности шлаков и технические характеристики шлаковаты, полученной из этих шлаков. Результаты расчетов и экспериментов приведены в таблице 1.

*Таблица 1*

Химический состав и характеристики шлаковаты				
Показатели			Доменные шлаки комбинатов	
			Им. Ильича	"Азовсталь "
Химсостав	SiO <sub>2</sub>		39,44	38,16
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		6,88	7,65
	CaO		44,34	43,41
	MgO		1,3	1,5
Модуль кислотности М <sub>к</sub>	Исходный шлак		1,04	1,02
	Подкисл. до- бавки, %	15	1,20	1,17
		20	1,25	1,22
	Стандартный М <sub>к</sub>			≥ 1,2
Толщина нити, мкм			6,5	7,0
Огнестойкость, °С	спекание, t <sub>сп</sub>		1100	1110
	плавление, t <sub>пл</sub>		1230	1230
t <sub>пл</sub> – t <sub>сп</sub>			130	120
Коэффициент теплопроводности при 100°С, Ккал/м·час·град.С			0,58	0,585

Как видно из таблицы, химические составы доменных шлаков обоих комбинатов и соответственно модули кислотности близки по своим значениям, поэтому количество подкисляющих добавок при эксперименте было введено в

шлаковые расплавы равным по 15 и 20 масс.%. Технические характеристики полученной шлаковаты для шлаков обоих комбинатов (толщина нити, огнестойкость, теплопроводность, табл. 1) имеют близкие значения и свидетельствуют о высоком качестве полученной шлаковаты.

Основным показателем, определяющим пригодность сырья для производства минеральной ваты, в частности шлаковой, служит модуль кислотности, представляющий собой отношение суммы масс.% содержания в сырье кислых окислов – кремнезема  $\text{SiO}_2$  и глинозема  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – к сумме масс основных окислов – кальция  $\text{CaO}$  и магния  $\text{MgO}$ . В соответствии со стандартом модуль кислотности должен быть не менее 1,2, т.е.

$$M_k = \frac{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{CaO} + \text{MgO}} \geq 1,2$$

Так как доменные шлаки согласно своему химсоставу определяются как основные, модуль кислотности которых находится в пределах 1,0 – 1,05, то для получения качественной нити (волокна) – тонкой и длинной (1,0 – 2,5м) необходимо подкисление шихты в пределах 15-20 масс. %, что приближает модуль кислотности к стандарту  $M_k \approx 1,2$  (см. табл.). Добавка более 20% подкисляющих нецелесообразна, т.к. возрастают энергозатраты для получения шлака необходимой жидкотекучести и вязкости, близкой к вязкости расплава в капельно-жидком состоянии при выпуске из летки печи при температуре 1300-1350 °С основных шлаков, т.к. температура капельножидкого состояния для кислых шлаков выше, чем у основных и находится в интервале 1400-1450 °С.

При использовании шлакового расплава с модулем кислотности  $M_k \leq 1,0$  (при добавке < 15%) образуется короткое, толстое и хрупкое волокно, которое со временем разрушается до порошка. Т.е. такие расплавы непригодны для получения качественной минваты. Введение в эксперименте подкисляющих добавок в количестве 15-20% к массе шлака повысило модуль кислотности до стандартной величины  $M_k \approx 1,2$ , что позволило получить качественную шлаковату (табл. 1).

Способ осуществляется следующим образом: шлаковый расплав, например доменный) (огненно-жидкий) сливают в ковш-шлаковоз, в который предварительно вводят в количестве 150-200 кг/т шлака тонкоизмельченный (0,3-0,1 мм) подкислитель (бой красного кирпича, бой силикатного кирпича, керамический бой, песок и др.)

Шлаковый расплав в ковше-шлаковозе транспортируют для слива, например, в ванну печи-шлакоприемника по сливному лотку, который может содержать специальное загрузочное устройство для введения в струю шлака подкисляющей добавки (как вариант). Горелками, работающими на поступающем от доменной печи колошниковом газе, температуру шлакового расплава доводят до температуры жидкоплавкого (жидкотекучего) состояния, которая зависит от химсостава получаемых шлаков и колеблется в пределах 1325-1525 °С. В про-

веденном эксперименте нагрев проводили до 1350 °С (жидкотекучее состояние). Расплав из печи-шлакоприемника подают по специальному лотку и раздувают на волокна. В эксперименте авторов использован применяющийся на ЗИМе центробежно-валковый способ раздува, в котором получают минеральное волокно с помощью центрифуги, содержащей четыре рабочих вала, вращающихся с большой скоростью вокруг горизонтальных осей. При этом способе раздува выход шлаковаты достигает 75%.

Использование предложенного способа позволит усовершенствовать способ получения шлаковаты из огненно-жидких шлаков, путем учета основности (кислотности) шлаков при введении добавок и использования для дополнительного подогрева расплава дешевого доменного газа повысить качество и снизить себестоимость шлаковаты.

Для реализации предложенного способа получения шлаковаты из огненно-жидких шлаков была разработана технологическая линия, на которой можно из получаемой шлаковаты производить полужесткие плиты путем использования минерального связующего (рис. 3).

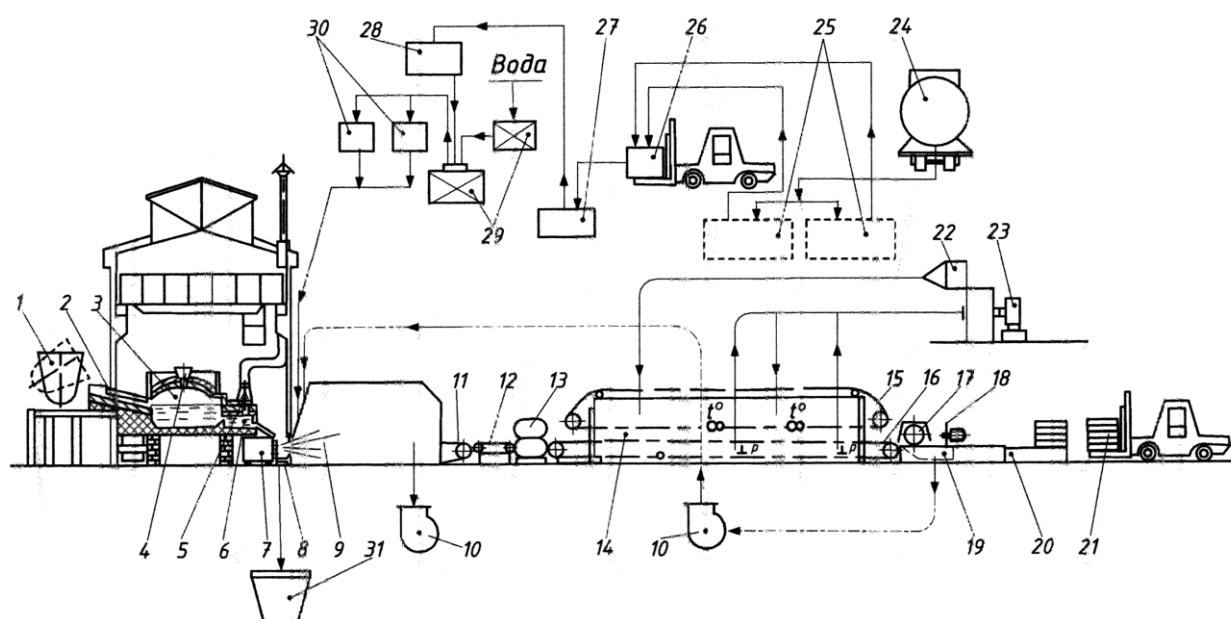


Рис. 3. Технологическая линия производства мягких и полужестких минераловатных плит на синтетическом связующем:

- 1 – Ковш с первичным огненно-жидким шлаком; 2 – сливной желоб;
- 3 – печь-шлакоприемник; 4 – загрузка добавок; 5 – вытяжной зонт; 6 – печь-питатель;
- 7 – многовалковая центрифуга; 8 – скребковый транспортер; 9 – камера волокноосаждения;
- 10 – дымосос; 11 – транспортер камеры волокноосаждения;
- 12 – промежуточный транспортер; 13 – каландры; 14 – камера полимеризации (КП);
- 15 – верхний транспортер КП; 16 – нижний транспортер КП;
- 17 – продольные дисковые ножи; 18 – нож поперечной резки; 19 – установка переработки;
- 20 – стол сортировки; 21 – готовая продукция; 22 – газовая горелка; 23 – дымосос;
- 24 – цистерна со связующим; 25 – резервуары-хранилища; 26 – транспортная емкость;
- 27 – приемная емкость; 28 – резервуар связующего; 29 – лопастной смеситель;
- 30 – расходные баки; 31 – бункер для сбора "королька"

На технологической линии (рис. 3) предусматривается производить минераловатные плиты (мягкие и полужесткие) на фенольном связующем – это теплоизоляционные изделия, получаемые нанесением на минеральное волокно синтетического связующего с последующим уплотнением материала и тепловой обработкой для закрепления связующего и обеспечения заданной формы изделия.

Процесс производства на линии минераловатных изделий после раздува жидкого шлака начинается в камере волокноосаждения 9 (рис. 3), где связующее вещество раздувается тем или иным способом в мельчайшие капельки, которые оседают на волокне минеральной ваты. Связующее вещество при равномерном его распределении в волокнистой массе способствует сохранению формы и размера изделий.

Камера тепловой обработки (камера полимеризации 14) снабжена двумя транспортерами – несущим нижним 16, который подает минераловатный ковер, и прижимным верхним 15, уплотняющим минераловатный ковер. Ограждающие конструкции камеры защищены тепловой изоляцией для обеспечения необходимого теплового режима в камере. Тепловая обработка происходит путем прососа теплоносителя с начальной температурой 180 °С через минераловатный ковер. Направление движения газов от горелки 22 на рис. 3 показано стрелками.

Температура дымовых газов в зоне отверждения должна составлять 180-200 °С, а на выходе из камеры 14 в атмосферу – 120-130 °С. Дымосос 10 предусмотрен для отсоса паров фенолспиртов.

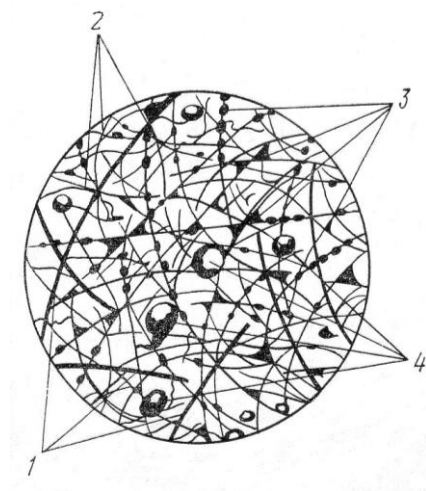


Рис. 4. Структура минераловатного войлока X102 (микрофотография):

- 1 – утолщенное волокно; 2 – тонкое волокно;  
3 – битумные капли; 4 – корольки

В условиях завода изоляционных материалов (ЗИМ) авторами был проведен эксперимент получения жестких плит из шлаковаты. На рис. 5 в качестве результатов эксперимента представлены фотографии двух образцов.

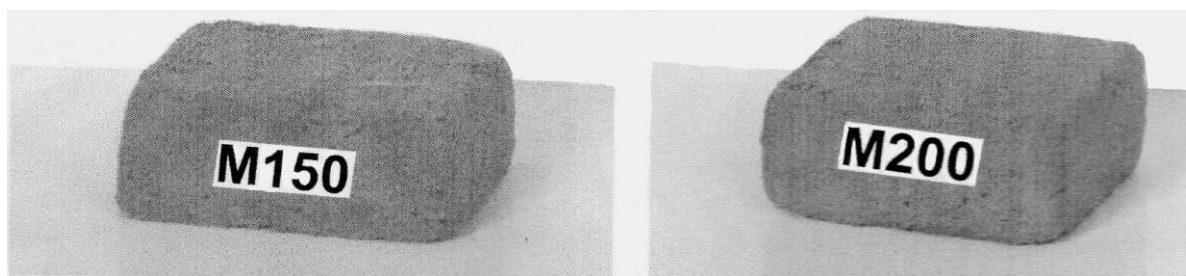


Рис. 5. Экспериментальные образцы жестких плит на битумном связующем.

Как видно из маркировок образцов, в результате эксперимента были получены плиты высоких марок М150 и М200.

Технология процесса изготовления жестких плит аналогична технологии изготовления мягких и полужестких плит. Различие заключается лишь в марке и количестве битумного связующего, применяемого для их производства. Этот фактор предопределяет и свойства получаемой продукции – объемную массу, пористость и теплопроводность, которые у образцов были следующими: объемная масса – 150-200 кг/м<sup>3</sup>; коэффициент теплопроводности – 0,055-0,06 ккал/м·ч·град; предел прочности при изгибе – 1,05-1,1 кг/см<sup>2</sup>.

Такие плиты можно производить на технологической линии (рис.3) при наличии в линии блока введения связующего в минераловатный ковер методом пролива с вакуумированием и отжимом.

*В заключение* следует отметить, что широкое использование металлургических шлаков позволит решить вопросы изготовления химически и термически устойчивых шлаковатных изделий, что расширит их применение в строительстве. Особое значение приобретают теплоизоляционные изделия из шлаковой ваты в жилищном строительстве. Шлаковатные плиты долговечны и экологически безопасны и являются эффективными тепло- и звукоизоляторами. Так 120 миллиметровый слой изоляции на минеральной основе защищает от холода (тепла) так же, как кирпичная стена метровой толщины. Такое свойство изоляции на минеральной основе признано особенно эффективным при тепловой изоляции наружных стен зданий. Существующие здания различной конструкции (кирпичные, полноблочные), построенные в разные периоды, имеют недостаточную теплозащиту. Для повышения комфортности помещений, сохранности зданий и экономии тепловой энергии целесообразно применять дополнительное их утепление, что позволит обеспечить снижение затрат на отопление и кондиционирование до 60%.

Плиты из минеральной ваты могут также применяться для термо- и акустической изоляции легких щитовых перегородок и стен, крыш с комбинированной вентилируемой кровлей, деревянных полов на лагах, деревянных балочных кровель.

Широкий спектр применения минераловатных плит подтверждает целесообразность их производства с экономической и экологической точек зрения.

### **Список литературы**

1. Горлов Ю.П. Технология теплоизоляционных и акустических материалов и изделий. – М.: Высшая школа, 1989. – с. 121-130.
2. Горяйнов К.Э., Дубенецкий К.Н., Васильков С.Г. Технология минеральных теплоизоляционных материалов и легких бетонов. – М.: Стройиздат, 1976. – 536 с.
3. Болдырев А.С., Золотов П.П. Строительные материалы. – М.: Высшая школа, 1989. – 479 с.
4. Кравченко В.П., Таранина Е.В. Способ получения шлаковаты из огненно-жидких шлаков. Заявка на полезную модель И 2017 11927. Приоритет от 25.12.2017 г.

© Кравченко В.П., Таранина Е.В., Ганкевич В.Ф., 2018

*Надійшла до редколегії 21.02.2018 р.*

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Л.Ж. Горобець*

УДК 622.775

**К.В. НІКОЛАЄНКО**, канд. техн. наук

(Україна, Кривий Ріг, Державний ВНЗ "Криворізький національний університет"),

**О.А. БЕССАРАБОВ, В.В. САМОЙЛОВ**

(Україна, Кривий Ріг, ТОВ "НВО "РАКУРС")

**С.Е. АФАНАСЬЄВ**

(Україна, Горишні Плавні, ТОВ "Феррострой")

## **ШЛЯХИ СПРОЩЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ЗБАГАЧЕННЯ ТОНКОВКРАПЛЕНОЇ МАГНЕТИТОВОЇ РУДИ**

*Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.* Питання спрощення існуючих технологічних схем збагачення мінеральної сировини є актуальним, так як воно пов'язано з суттєвим зниженням витрат на виробництво. Існують, багато різновидів магнетитових руд. Але найбільше поширені, тонко вкрапленні магнетитові кварцити, які за рахунок особливостей фізико-мінералогічних властивостей, відносяться до важко збагачуваних і потребують для отримання високоякісного концентрату, розвинених та складних схем руйнування руди та її збагачення. Роботи спрямовані на спрощення технології збагачення тонко вкраплених магнетитових руд в умовах великих ГЗК, дозволять спростити обслуговування технологічної лінії та знизити собівартість кінцевої продукції.

*Аналіз досліджень і публікацій.* В даний час важко збагачуванні руди переробляються на Україні в промислових масштабах на Інгулецькому та Полтавсь-